AUS DEM WERNER-SIEMENS-INSTITUT FÜR RÖNTGENFORSCHUNG IM STÄDT. KRANKENHAUS MOABIT (DIREKTOR: DR. K. FRIK) UND AUS DEM INSTITUT FÜR STRAHLENFORSCHUNG AN DER UNIVERSITÄT BERLIN (DIREKTOR: PROF. W. FRIEDRICH)

ÜBERLAGERUNGSSTREIFEN IM RÖNTGENBILD

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER MEDIZINISCHEN DOKTORWÜRDE AN DER FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

VORGELEGT VON

DR. PHIL. PAUL OTT

AUS WÜRZBURG

Tag der Promotion: 14. Okt. 1932

GEORG THIEME / VERLAG / LEIPZIG

1932

153

GEDRUCKT MIT GENEHMIGUNG DER
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT BERLIN

DEKAN: HERR PROF. G. VON BERGMANN
REFERENT: HERR PROF. W. FRIEDRICH

SONDERDRUCK AUS
„FORTSCHRITTE AUF DEM GEBIETE DER RÖNTGENSTRAHLEN", BAND 46 (1932), HEFT 6

Aus dem Werner-Siemens-Institut für Röntgenforschung im Städt. Krankenhaus Moabit (Direktor: Dr. K. Frik) und aus dem Institut für Strahlenforschung an der Universität Berlin (Direktor: Prof. W. Friedrich)

Überlagerungsstreifen im Röntgenbild

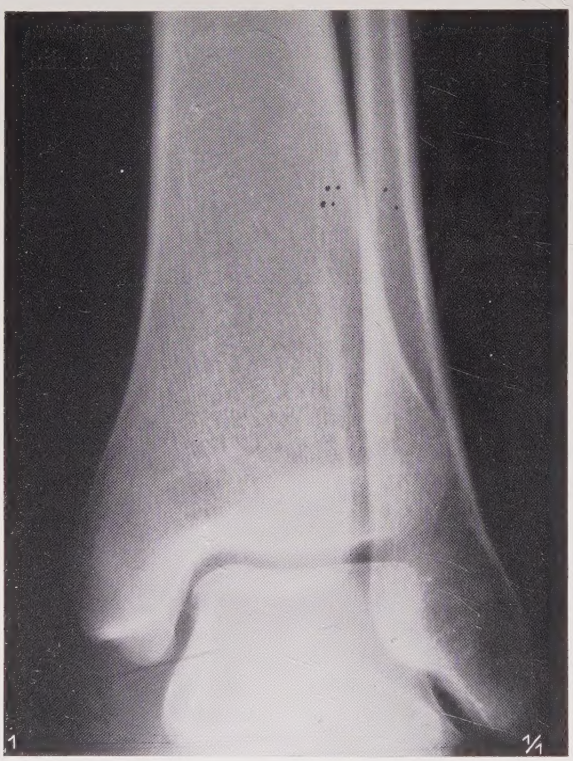
Von

Dr. phil. **Paul Ott**

Hilfsarzt am Werner-Siemens-Institut für Röntgenforschung im Städt. Krankenhaus Moabit

Mit 12 Abbildungen

Bei der Betrachtung von Röntgenbildern (Originalaufnahmen) des Unterschenkels in ventrodorsaler und in lateromedialer Richtung sieht man oft deutliche dunkle Streifen an der Über-



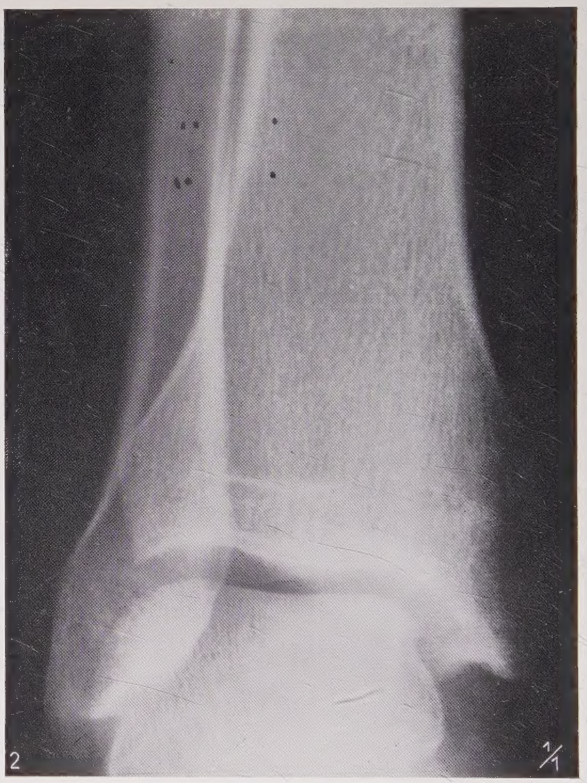


Abb. 1. 1 m Entfernung, Heydenfolien, Agfa-Sicherheitsfilm, 1,7 sec, 35 mA, 55 kV eff.
Abb. 2. 75 cm Entfernung, Heydenfolien, Agfa-Sicherheitsfilm, 1 sec, 30 mA, 40 kV eff.

schneidung von Fibula und Tibia, wenige Zentimeter über dem Sprunggelenk. Den ersten Hinweis auf diese Erscheinungen verdanke ich Herrn Dr. K. Frik. Zwei derartige ventrodorsale Aufnahmen zeigen die Abb. 1 und 2. Doch nicht nur an den verschiedensten Knochenüberschneidungen können solche dunkle Streifen gesehen werden, sondern auch bei Überkreuzungen von Knochen und Weichteilen und bei reinen Weichteilüberkreuzungen. Da diese Erscheinungen tatsächlich schon Veranlassung waren zu falschen Diagnosen von Fissuren und Brüchen an Knochen, wurde von uns seit einiger Zeit diesen Erscheinungen größere Aufmerksamkeit gewidmet.

Mit den in der Literatur als Köhlersche und Janussche Streifen bekannten Erscheinungen haben diese Streifen nichts zu tun, denn sie treten nicht an den Grenzen zu stark überstrahlter Flächen auf. Da mit der Möglichkeit des Auftretens der Machschen optischen Täuschung zu rechnen war, haben wir gemäß den Angaben von Walter[1]) den Windschen Abdeckungsversuch ausgeführt. Für mein subjektives Empfinden verschwanden diese Streifen bei diesen Abdeckversuchen nicht. Da der Versuch die subjektiven Komponenten des menschlichen Gesichtssinnes heranzieht zur Entscheidung rein objektiver physikalischer Tatsachen, nämlich ob an einer definierten Filmstelle eine stärkere Schwärzung vorliegt gegenüber der Umgebung oder nicht, habe ich ihn als einen physiologischen und psychologischen Versuch für eine physikalische Entscheidung abgelehnt.

Wie mein Lehrer Ernst Wagner[2]) damals im Physikalischen Institut von Röntgen die Reellität der Köhlerschen Streifen durch Photometrie sicherstellte, so konnte ich dies jetzt auch für diese Streifen tun.

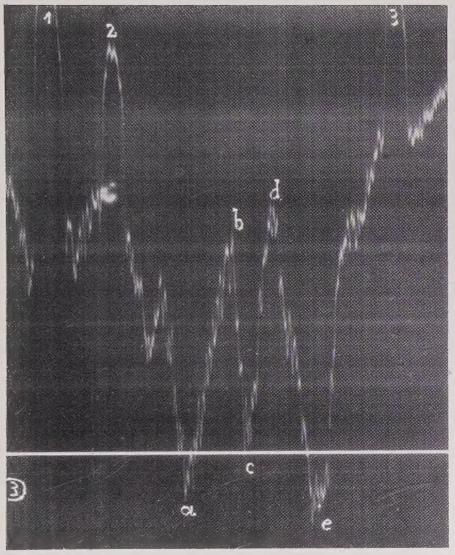


Abb. 3.

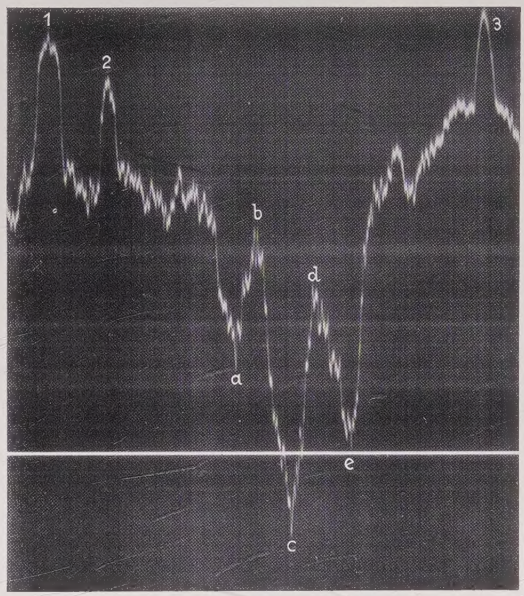


Abb. 4.

Abb. 3 und 4 geben zwei Photometerkurven wieder, die durch Messungen zwischen den auf Abb. 1 gezeichneten Marken erhalten wurden. Es wurde jeweils gemessen von der aus zwei Punkten bestehenden Marke in der Tibia zu der aus einem Punkt bestehenden Marke in der Fibula, also quer durch den Streifenbereich hindurch. Die ungleiche Markierung geschah, um eine Verwechslung der Seiten auszuschließen. Abb. 3 zeigt die Photometerkurve des proximaler gelegenen, markierten Abschnittes, während Abb. 4 die Photometerkurve des distaleren, markierten Bereiches wiedergibt. Die Photometrierungen wurden mit einem Registriermikrophotometer nach Koch und Goß ausgeführt, wie es die Firma A. Krüß in Hamburg baut.

Die Einstellungen bei diesen Messungen am Photometer sind aus folgenden Daten zu entnehmen: Stellung der Irisblende vor der Kompensationszelle (Handrad) Teilstrich 1; Stellung der Spaltblende unter der Zylinderlinse Teilstrich 2; Schneidenspannungen am Elektrometer $\pm$ 80 Volt; Zellenspannung — 100 Volt; Lampenspannung 12 Volt; Größe des Meßspaltes am Filmorte $3/100 \times 0{,}7$ mm^2; Mikroskopobjektiv mit Einzelvergrößerung 8 und numerischer Apertur 0,20; Übersetzung der Photometerkurven im obigen Falle 1 : 6, bei den späteren Aufnahmen 1 : 2, Bewegungsgeschwindigkeit der Aufnahmeplatte bei der Übersetzung 1 : 6 etwa 0,09 mm/sec. Als Registrierplatten bewährten sich die Graphosplatten der Firma Gebhardt, Bln.-Niederschönhausen.

[1]) Walter: Fortschr. Röntgenstr. **25**, 88—106 (1917).
[2]) Köhler: Fortschr. Röntgenstr. **25**, 497 (1917—1918).

Als Abszissen sind die auf dem Film durchmessenen Strecken im Verhältnis 1 : 6 (später 1 : 2) vergrößert wiedergegeben. Als Ordinate markierte sich der jeweilige Elektrometerausschlag, dessen Größe ein Maß für die Undurchlässigkeit der betreffenden Filmstelle für optisches Licht darstellt. Bemerkt sei, daß bei der Aufnahme beider Kurven mit zwei verschiedenen Elektrometerempfindlichkeiten gearbeitet wurde, um die Kurven vollständig auf die Platten zu erhalten. Es können daher zum Schwärzungsvergleich nicht ohne weiteres die Ordinaten beider Kurven miteinander verglichen werden, da wohl der gleich große Ordinatenwert auf ein und derselben Kurve Stellen gleicher Schwärzung des Films wiedergibt, nicht aber auf der andern Kurve eine gleich-

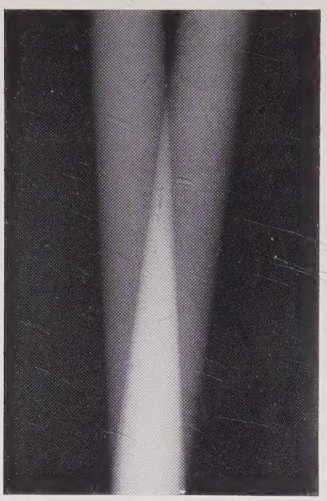


Abb. 5 (seitenverkehrt).

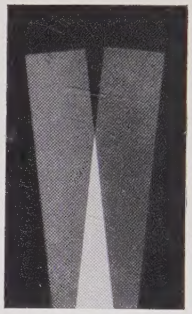


Abb. 7.

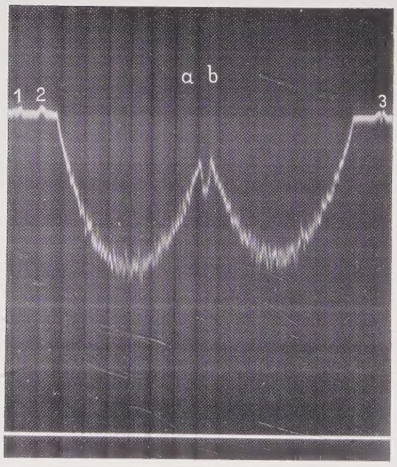


Abb. 6.

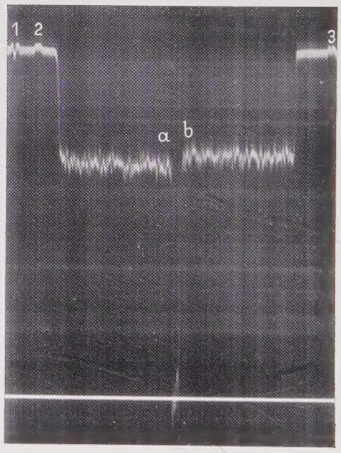


Abb. 8.

geschwärzte Stelle markiert. Außerdem ist bezüglich der Lesung der Photometerkurven zu sagen, daß der doppelten Größe eines Ordinatenwertes nicht die doppelte Schwärzung des Films entspricht, da Proportionalität zwischen Photostrom und Elektrometerausschlag nicht besteht. Doch sind diese Tatsachen für die Entscheidung unserer Frage nach der Reellität der Streifen unwichtig. Ihre Erwähnung geschah, um falschen Folgerungen beim Lesen der Kurven vorzubeugen. Der horizontal durch die Kurven verlaufende Strich entspricht der photometrischen Null-Ordinate. Die drei höchsten Erhebungen, bezeichnet mit 1, 2, 3, entsprechen den 3 Tintenmarken, durch welche durchphotometriert wurde. Das Tal a entspricht der Projektion des inneren Teils der Kortex

des lateralen Tibiaschaftbereiches, ebenso entspricht das Tal e der Projektion des inneren Teils der Kortex des medialen Fibulaschaftbereichs. Die zwischen 2 und a bzw. e und 3 registrierten größeren Schwärzungsschwankungen entsprechen den für Röntgenstrahlen durchlässigeren Gebieten der Spongiosa. Die feineren, kleinamplitudigen Schwankungen der Photometerkurven rühren von unregelmäßiger Korngröße und Verteilung auf dem Film her. Das Tal c entspricht dem Gebiet der überlagerten Teile von Tibia und Fibula. Den Grenzen der Überlagerung entsprechen die Schwärzungen b und d. Diese sind also reell und es ist besonders interessant, daß Walter[1]) im letzten Hefte dieser Zeitschrift (Bd. 45, H. 4, S. 450) auf Grund des Windschen Abdeckversuches, der bei ihm positiv ausfällt (die Streifen verschwinden läßt), diese Streifen durch „reine" Machsche Täuschungen erklärt, während für meinen Gesichtssinn der Versuch negativ verläuft und ich dem Machschen Phänomen in diesem Falle nur eine Verstärkung der reellen Kontraste zuerkennen kann.

Es wäre eine Aufgabe der Psychologie und Physiologie, festzustellen, in welchen Grenzen der Windsche Abdeckversuch zur Klärung solcher Fragen beitragen kann und wie breit die individuellen Schwankungen sind. Es scheint doch tatsächlich so zu sein, daß auch wirklich vorhandene Schwärzungen durch den Abdeckversuch vom menschlichen Gesichtssinn nicht mehr wahrgenommen werden, was in diesem Falle aus den Ergebnissen von Walter im Zusammenhang mit der Tatsache der Reellität der Streifen gefolgert werden muß. Tatsächlich haben mir auch andere Beobachter angegeben beim Abdeckversuch die Streifen verschwinden zu sehen, während dies für meinen Gesichtssinn nicht zutrifft.

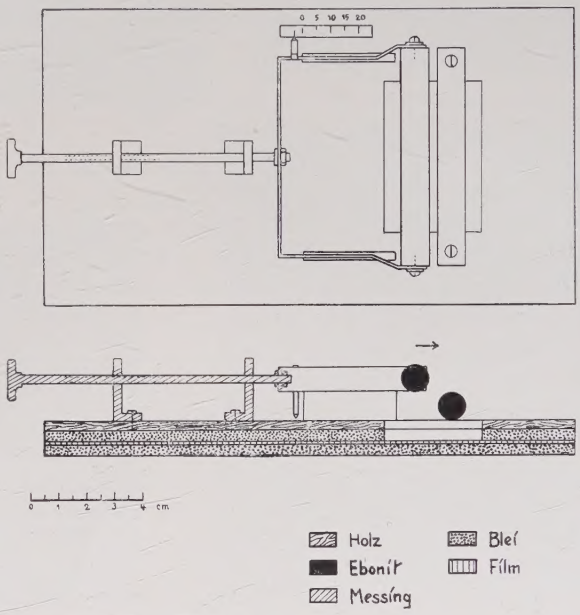


Abb. 9.

Ein Vergleich von Abb. 3 und 4 läßt erkennen, daß bei Abb. 3 das Tal c höher liegt als die Täler a und e, während bei Abb. 4 das Umgekehrte der Fall ist. Ebenso ist interessant die Tatsache, daß die Berge b und d auf Abb. 4 etwas ausgeglichener auftreten als auf Abb. 3, was in Übereinstimmung ist mit der Tatsache, daß die dunklen Streifen auf Abb. 1 unmittelbar nach dem Überkreuzungsbeginn am deutlichsten sind und mit zunehmender Divergenz undeutlicher werden. Die Erklärungen für diese Tatsachen werden weiter unten gegeben.

Die Bereiche wurden mit neuen Einstellungen mehrmals photometriert und immer gleiche Kurvenformen erhalten. Auch der Film der Abb. 2 wurde an zwei Stellen photometriert und es wurden ähnliche Verteilungskurven erhalten. Aus Sparsamkeitsgründen beim Druck verzichte ich hier auf die Wiedergabe dieser Photometerkurven und weiterer typischer medizinischer Röntgenbilder, welche diese Streifen zeigen.

Nachdem nun die Reellität der Streifen feststand, mußte eine Erklärung für ihr Auftreten gefunden werden. Zu diesem Zwecke machte ich Modellversuche und da die Erscheinungen am schönsten an Knochenüberkreuzungen auftreten, kreuzte ich zunächst beliebige Skeletröhrenknochen miteinander und fand immer die Streifen am Anfang der Überkreuzung mehr oder weniger deutlich. Nun wurden als stark vereinfachte Modelle Vollstäbe aus Glas und Ebonit gewählt und unter den verschiedensten Winkeln gekreuzt. Auch bei diesen Aufnahmen traten die Streifen

[1]) Walter: Fortschr. Röntgenstr. **45**, 450 (1932).

immer auf. Abb. 5 zeigt die Röntgenaufnahme zweier gekreuzter Ebonitstäbe von 1 cm Durchmesser. Man erkennt, ähnlich wie auf Abb. 1, vom Kreuzungsbeginn an zwei divergente, dunkle Streifen, die im weiteren Verlauf allmählich an Deutlichkeit einbüßen und schließlich völlig unkenntlich werden. Abb. 6 gibt die Photometerkurve wieder, die zwischen den auf Abb. 5 angegebenen Marken erhalten wurde und auf welcher zwei Berge (a und b) zu erkennen sind, die dem Durchgang durch die dunklen Streifen entsprechen. Diese Aufnahme und alle weiteren wurden unter folgenden Bedingungen gemacht:

Als Energiequelle diente ein Vierventilröhrenapparat der Firma Siemens-Reiniger-Veifa „Polyphos". Strahlenquelle war eine Siemens-Multix-Doppelfokusröhre, von welcher nur der Feinfokus verwandt wurde. Als Filme wurden Doneofilme ohne Verstärkungsfolien benutzt. Der Zentralstrahl fiel senkrecht auf die Mitte des Films. Dort befanden sich jeweils die Objekte, in diesem Falle die gekreuzten Ebonitstäbe. Der Doneofilm lag auf 4 mm dickem Bleigummi, der sich in die Umgebung fortsetzte zur Vermeidung überflüssiger Streustrahlung. Der Abstand Fokus—Film betrug 106 cm. In den Strahlengang war das bei diagnostischen Aufnahmen übliche 0,5 mm dicke Aluminiumfilter eingeschaltet und das Rohr trug einen Tubus von 10 cm Länge und 5,5 cm Durchmesser, der in 14 cm Entfernung von dem Fokus am Rohr ansetzte. Der Röhrenstrom betrug 30 mA, die Spannung 40 kV eff., die Belichtungszeit war 3 Sekunden. Die Filme wurden 5 Minuten in einem guten Röntgen-Rapidentwickler (Agfa) entwickelt.

Unter denselben Bedingungen machte ich anschließend Aufnahmen mit zwei gekreuzten Ebonit-Parallelepipeden, deren Kantenlängen 8, 9 und 45 mm betrugen und wobei die Strahlenrichtung parallel den 9 mm langen Quaderkanten verlief. Die Fläche 8×45 mm² des einen lag dem in Papier gepackten Film unmittelbar an, der zweite Quader lag über dem ersten gekreuzt. Der Winkel ist aus der Abb. 7 zu ersehen. Bei dieser Aufnahme sind die dunklen Stellen an der Überkreuzung für mein Auge nicht sichtbar und die Photometerkurve zwischen den Stellen 1, 2, 3 ergibt folgendes Bild (Abb. 8): Die Schwärzung sinkt senkrecht von den bei der Röntgenaufnahme unbedeckten Stellen starker Schwärzung in der Nachbarschaft der Quader auf ein Niveau, das der geringeren Filmschwärzung, hervorgerufen durch die Absorption der Röntgenstrahlen in 9 mm Ebonit, entspricht. Von diesem Niveau findet ein abermaliger senkrechter Sprung zu dem dritten Schwärzungsniveau statt. Dieses wird bedingt durch eine Filmschwärzung, die von der Röntgenstrahlung erzeugt wird nach Durchgang durch 18 mm Ebonit. Es treten an den Grenzstellen der Überlagerung (a und b) in der Kurve keinerlei Bergbildungen auf, die für intensivere Schwärzungen an diesen Stellen sprechen würden. Die geringe Verschiedenheit des mittleren Niveaus rechts gegenüber links erklärt sich aus der nicht völlig gleichen Dicke der beiden Quader. Eine Nachmessung mit der Schubleere ergab diese Dicken zu 8,8 bzw. 9,1 mm. Die Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse an den Stäben und Quadern aus Ebonit führt zu der Tatsache, daß die Streifenbildungen mit Rundungen in Zusammenhang stehen müssen. Dafür spricht auch das Auftreten im medizinischen Röntgenbild an Stellen, wo sich zwei rundliche Gebilde überlagern, wie z. B. an Überlagerung von Knochenrändern, Muskelrändern oder anderen gerundeten Formen des Körpers.

Zur weiteren Klärung machte ich nun folgende Versuchsreihe: Die beiden oben beschriebenen Ebonitstäbe wurden so auf einer Holzunterlage befestigt, wie es Abb. 9 wiedergibt. Der linke Hartgummistab konnte über den rechten mit Hilfe der dargestellten Schraube verschoben werden (siehe die Pfeilrichtung auf dem Schnitt der Abb. 9). In Abständen, die aus den entsprechenden Abbildungen zu entnehmen sind (Abb. 10), wurden unter völlig gleichen Bedingungen wie bei den gekreuzten Stabversuchen Röntgenaufnahmen gemacht. Man erkennt das Auftreten von zwei dunklen Streifen bei geringgradiger Überlagerung, während bei stärkerer Überlagerung diese Streifen undeutlich werden und schließlich ganz verschwinden (Abb. 10: α—η). Die beigefügten Photometerkurven (Abb. 10: α'—η') sind nicht bei konstanter Elektrometerempfindlichkeit für alle Kurven gemacht. Was sie deutlich erkennen lassen, sind die Berge a und b auf den Abb. β', γ' und δ', die sich mit zunehmender Überlagerung der Stäbe abflachen und schließlich verschwinden (Abb. ε', ζ' und η'), entsprechend dem Verschwinden der Streifen für das Auge auf den Röntgenaufnahmen. In der Abb. 11 wurden durch Superposition die Schichtdicken konstruiert,

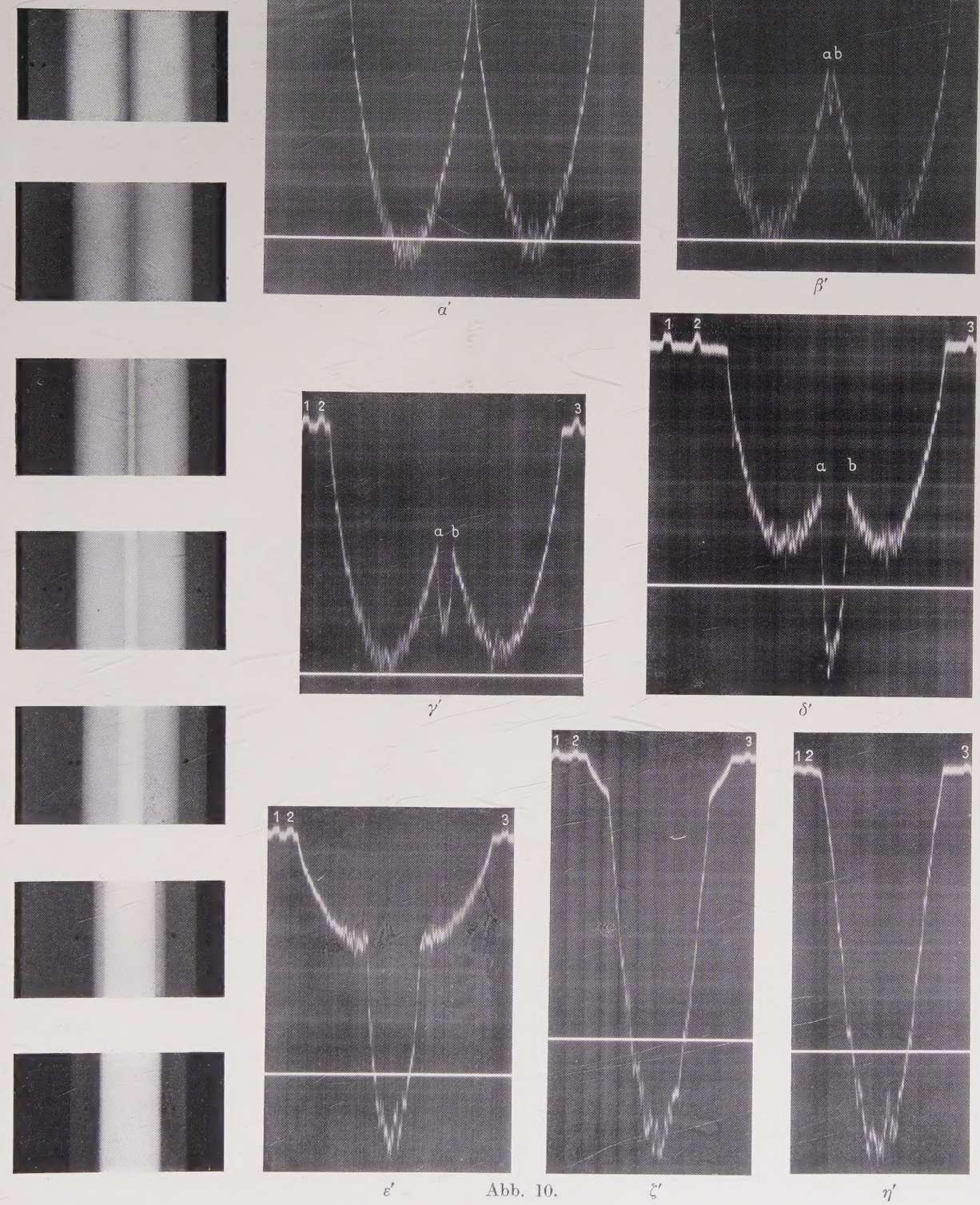


Abb. 10.

welche die Röntgenstrahlen bei überlagerten parallelen Stäben, senkrechten Strahleinfall vorausgesetzt, durchsetzen. Man erkennt in den Schichtdickenkurven die reziproken Photometerkurven wieder. Die nicht vorhandene mathematische Kongruenz ist durch verschiedene Einflüsse bedingt, welche bei Berücksichtigung eine Transformation der Photometerkurven auf die Dickenkurven ermöglichen würden. Doch wird von diesen Korrektionen hier Abstand genommen, da es hier nur auf die Existenz von Schwärzungsschwankungen ankommt. Von den entstellenden Einflüssen seien nur kurz erwähnt: 1. die verschiedene Elektrometerempfindlichkeit für die verschiedenen

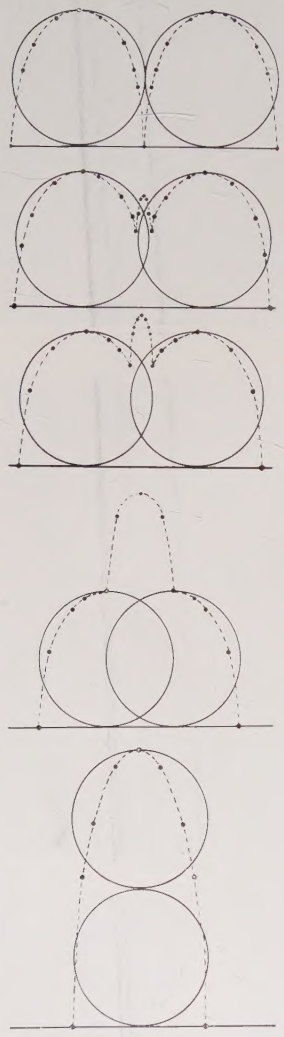
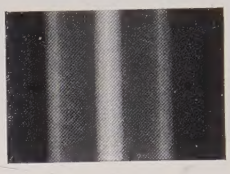
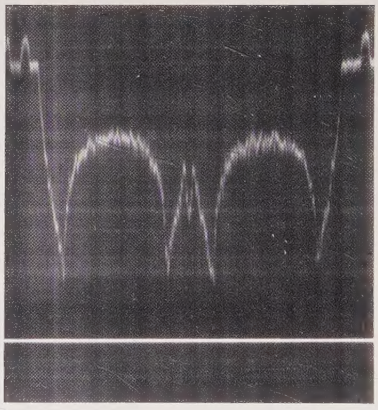


Abb. 11.

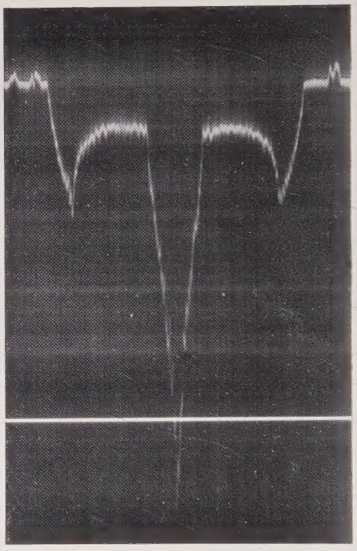
α



β



α′



β′

Abb. 12.

Photometerkurven; 2. der schwer zu überblickende Anstieg der Absorption inhomogener Röntgenstrahlenintensität mit der Schichtdicke; 3. der nicht lineare Verlauf der Schwärzung des Films für inhomogene Röntgenstrahlen.

Denken wir uns bei der Stabüberkreuzung (Abb. 5) Querschnitte senkrecht zur Winkelhalbierenden des spitzen Kreuzungswinkels gelegt, so werden diese Stäbe in Ebenen mit geringgradiger elliptischer Begrenzung angeschnitten. Wir können bei sehr spitzen Winkeln diese Ebenen in erster Annäherung Ebenen mit kreisförmiger Begrenzung gleichsetzen. Man erkennt sofort, daß bei einer Röntgenaufnahme solcher gekreuzter Stäbe ein kontinuierliches Durchlaufen ähnlicher Überlagerungssituationen in den einzelnen Querschnitten vorliegt, wie wir sie nacheinander für parallele Stäbe in Abb. 10 und 11 hervorriefen. Dies läßt auch die früher erwähnten Auffällig-

keiten beim Vergleich der Photometerkurven 3 und 4 bezüglich der Berg- und Talausbildung ohne weiteres verstehen.

Die Photogramme aller Aufnahmen dieser letzten Versuchsreihe zeigen an den nicht überlagerten Stellen an den lateralen Seiten keinerlei atypische Schwärzungsschwankungen. Der ganze Schwärzungsverlauf ist durch Schichtdicken zu erklären.

Eine weitere Versuchsreihe stellte ich mit Ebonitrohren an, die einen Außendurchmesser von 1 cm und eine lichte Weite von 0,77 cm hatten. Sie waren in gleicher Weise befestigt wie die Vollstäbe (s. Abb. 9). Bei geeigneter Überlagerung bekommt man nun hier nicht nur reelle dunkle Streifen, sondern auch helle Streifen, wie dies zwei Beispiele aus der Versuchsreihe in Abb. 12 veranschaulichen, mit den entsprechenden Photometerkurven. Durch Superposition der Schichtdicken gelangt man zu reziproken Kurvenformen. Es erklären sich also auch hier die dunklen wie die hellen Streifen einfach aus der Überlagerung.

Damit glaube ich nicht näher auf die unzureichende Arbeit von W. Alberti und B. Demetrowić eingehen zu müssen, über die schon Walter in seiner letzten Mitteilung richtig sagt: „... daß die Verfasser den Beweis für diese doch aus verschiedenen Gründen sehr unwahrscheinliche Vermutung (es handle sich bei Entstehung der Streifen nach Meinung der Autoren um Totalreflexion, Verf.) schuldig geblieben sind". Tatsächlich lassen sich diese Dinge einfacher und zwingender durch Überlagerung und nicht durch Totalreflexion erklären.

Zusammenfassung

1. Es wird gezeigt, daß bei der Überlagerung von zylindrischen und röhrenförmigen Gebilden im Röntgenbild sehr scharf begrenzte Schwärzungsunterschiede auftreten können, die als helle bzw. dunkle Streifen imponieren und die Veranlassung zu Mißdeutungen sein können. Da jedes medizinische Röntgenbild ein Überlagerungsbild ist, dürften diese Erscheinungen öfter eine Rolle spielen als man glaubt und sie verdienen besonders Berücksichtigung bei der Deutung von unklaren Schatten und Aufhellungen auf Röntgenaufnahmen vielgestaltiger Skeletteile.

2. Das Machsche Phänomen spielt dabei nur eine verstärkende Rolle. Die Totalreflexion zur Erklärung dieser Streifenbildungen heranzuziehen ist unbegründet nach diesen Versuchen.

3. Mit den in der Literatur als Köhlersche und Janussche Streifen bekannten Erscheinungen haben diese Streifenbildungen nichts zu tun.

Dem Direktor des Instituts für Strahlenforschung an der Universität Berlin, Herrn Prof. W. Friedrich und dem Direktor des Werner-Siemens-Instituts für Röntgenforschung im städtischen Krankenhaus Moabit, Herrn Dr. Karl Frik, spreche ich für ihr stets förderndes Interesse, das sie der Arbeit entgegenbrachten und für die mir zur Verfügung gestellten Apparaturen ergebensten Dank aus.

Schrifttum

Köhler: Fortschr. Röntgenstr. **24**, 236 (1916). — Walter: Fortschr. Röntgenstr. **25**, 88 (1917). — Köhler: Fortschr. Röntgenstr. **25**, 495 (1917). — Walter: Fortschr. Röntgenstr. **26**, 171 (1918) — Janus: Fortschr. Röntgenstr. **26**, 200 (1918). — Walter: Fortschr. Röntgenstr. **27**, 58 (1919). — A. Einstein: Verh. d. Dtsch. physik. Ges. **20**, 86 (1918). — W. Alberti und B. Demetrowić, Fortschr. Röntgenstr. **44**, 649 (1931). — Walter: Fortschr. Röntgenstr. **45**, 450 (1932).

Lebenslauf

Am 8. März 1902 bin ich als Sohn des Seifenfabrikanten Max Ott und seiner Ehefrau Klara, geb. Mayer, zu Würzburg geboren. Die Reifeprüfung bestand ich im Frühjahr 1921 an der Kreis-Oberrealschule zu Würzburg. Von da an studierte ich Naturwissenschaften und Medizin an den Universitäten Würzburg und München. Am 27. Mai 1927 promovierte ich bei der philosophischen Fakultät der Universität Würzburg auf Grund einer Dissertation betitelt: „Versuche über die Polarisation spektralzerlegter Röntgenstrahlen." Am 18. Dezember 1930 bestand ich die ärztliche Prüfung, am 31. Dezember 1931 erhielt ich von den bayerischen Staatsministerien des Innern und für Unterricht und Kultus die Approbation als Arzt.